



Excavación fina y saneamiento dental de la fundación de la presa del Ramal H, Tandil

Fine excavation and dental sanitation of "Ramal H" dam foundation, Tandil

Giaconi, Luis Mario ¹ ✉ - Flores, Roberto M. ² - Giordano, Ricardo Eduardo ¹
Cumba, Andrea ¹ - de Luca, Esteban ¹ - Giaconi, Mario Nicolás ²

Recibido: 13 de Marzo de 2012 • Aceptado: 22 de Mayo de 2012

Resumen

La denominada Presa del Ramal H, sita en la ciudad de Tandil (Prov. de Buenos Aires), consta de una longitud de 160 m y una altura sobre el terreno natural de 12 metros. Se proyectó a gravedad en Hormigón sobre el macizo rocoso identificado en las investigaciones. El objetivo de la construcción de la misma es la laminación de crecidas extraordinarias que anegan los barrios de sector oriental de la ciudad. El área del proyecto abarca la pequeña cuenca hidrográfica del arroyo que desemboca precisamente en el denominado Ramal H, desagüe pluvial entubado que finalmente desagua en el también entubado arroyo del Fuerte para descargar finalmente en el A° Languetú. Las nacientes de la cuenca se ubican dentro del cordón serrano que domina el área (Sierras de las Ánimas) siendo la máxima expresión geográfica del mismo el Cerro Albión, hacia la zona Este de la ciudad.

El presente trabajo trata sobre la fundación de la presa del Ramal H, su caracterización geológica y geotécnica y el tratamiento aplicado a la misma durante la faz final de excavación con el objeto de producir una homogeneización de las características geomecánicas del sustrato rocoso de apoyo mediante saneamiento dental, previo al tratamiento del mismo mediante inyecciones cementicias.

Palabras clave: Presa- fundación - macizo rocoso - excavación - saneamiento dental

Abstract

The so-called "branch H" Dam, located in the city of Tandil (province of Buenos Aires), consists of a length of 160 m and a height above the natural terrain of 12 meters. The dam was projected to concrete gravity on the rock mass identified in the research. The purpose of the construction itself is to reduce the extraordinary flood flooded in the eastern neighborhoods of the city. The project area includes the small watershed of the stream which flows precisely in the so-called H Branch, a piped storm drain that flows into the, also piped, "Fort stream" that finally flows into the "Languetú stream". The headwaters of the basin are located within the cord mountain that dominates the area ("Animas Hills") being the maximum geographical expression of the same the Albion Hill, to the east of the city.

1. Cátedra de Geología Aplicada, FCNyM, UNLP

✉ imgiaconi@gmail.com

2. Facultad de Ingeniería, UNLP - UTN, Regional La Plata

This paper deals with the foundation of the dam branch H, its geological and geotechnical characterization and the treatment applied to it during the final excavation face in order to produce a homogenization of the geomechanical characteristics of the bedrock of support through dental sanitation, pre-treatment of material by cement slurry injections.

Keywords: Dam - foundation - solid rock - digging - dental sanitation

OBJETIVO

El objetivo liminar del presente trabajo es comunicar, a partir de la determinación de las características geológico-geotécnicas del macizo rocoso que dan lugar a la fundación de la presa del Ramal H, las tareas de excavación realizadas y el plano de fundación definitivo en función de la profundidad del lecho rocoso inalterado y/o en condiciones geomecánicas favorables. Se presenta el desarrollo del tratamiento geotécnico ejecutado en el sustrato de fundación mediante saneamiento dental, previo al tratamiento final con inyecciones cementíceas.

INTRODUCCIÓN

Esta contribución se origina con motivo de la ejecución de los trabajos de excavación gruesa de la fundación de la presa del Ramal H y la laboriosa tarea de saneamiento geotécnico ejecutado mediante la excavación fina de rocas de baja calidad mecánica, discordantes con las características estructurales de la obra, y su reemplazo con hormigón a los fines de producir la homogeneización geomecánica del apoyo.

Síntesis de los estudios geológicos y geotécnicos realizados

Se realizó la caracterización geológica regional y luego se avanzó en la descripción y evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas del área de localización de la alternativa de cierre A-C (margen izquierda y margen derecha respectivamente). *Giaconi (1994, 2009).*

Se identificaron las unidades geológicas comprendidas por el área del cierre, cuenco disipador y canal de restitución como así también en el área del futuro vaso y sus adyacencias, contando con el auxilio de la fotografía aérea y la realización de perfiles sísmicos, perforaciones y ensayos ejecutados en estudios antecedentes. Se realizaron mediciones con brújula geológica, observaciones y descripciones megascópicas y con lupa de las muestras de rocas obtenidas en el muestreo de campo. A los fines geotécnicos, se ejecutaron perforaciones y calicatas en los suelos y sedimentos superficiales con el objeto de conocer la profundidad y características geomecánicas de los materiales clásticos en la zona de cierre y embalse. Se establecieron las condiciones y profundidades de la roca meteorizada/alterada y de la roca aparentemente sana que subyace. En las perforaciones se identificaron los ensayos Lefranc en los estudios antecedentes en suelos y se ejecutaron ensayos de pérdida de agua Lugeon en roca. Finalmente se realizaron ensayos geotécnicos de laboratorio sobre muestras obtenidas de los testigos de perforación e identificación petrográfica mediante microscopía. Con los datos obtenidos de los ensayos realizados y las determinaciones de campo y gabinete se procedió a identificar los distintos sectores litoestructurales que componen la geología del área sujeto de investigación procediéndose posteriormente a clasificarlos desde el punto de vista geotécnico a través de la aplicación general de las clasificaciones geomecánicas de uso actual internacional describiéndose los procedimientos de tratamiento geotécnico correctivo en función de lo identificado.

El análisis geotécnico tuvo por objeto explicitar los criterios adoptados para la elección de los parámetros resistentes para el cálculo de la estabilidad al deslizamiento, los parámetros de deformabilidad, las tensiones admisibles y la distribución de permeabilidades en la roca de fundación de la presa. *(Flores, 2009). (Flores y Giaconi, 2010)*

La elección de los parámetros de diseño se realizó sobre la base de la aplicación de teorías de mecánica de rocas *(Flores, 2009)* a partir de la comparación con macizos de similar comportamiento, comparables a través de su clasificación geotécnica.

Se incorporó información proveniente de las excavaciones realizadas con el objeto de alcanzar la cota de fundación prevista y se presentaron planillas referentes a los doce sondeos ejecutados durante los estudios preliminares que dieron lugar al informe geológico en las que se incluyeron: planillas de datos obtenidos de los registros de perforaciones, planillas resúmenes de clasificación en la que se detallan los parámetros requeridos para las clasificaciones RMR, Q y GSI y los resultados variando en profundidad, gráfico de variación del índice RMR con la cota, gráfico estadístico de variación del índice RMR en cada sondeo, gráfico de variación del índice Q con la cota, planilla de análisis de sensibilidad del índice Q en el sondeo, gráfico estadístico de variación del índice Q en cada sondeo, gráfico estadístico de variación del RQD en cada sondeo, gráfico de distribución de valores de RQD en cada sondeo, gráfico estadístico de variación del parámetro Jr (rugosidad) en cada sondeo, gráfico de distribución de valores del parámetro Jr en cada sondeo, gráfico estadístico de variación del parámetro Jn (número de familias de discontinuidades) en cada sondeo, gráfico de distribución de valores del parámetro Jn en cada sondeo, gráfico estadístico de variación del parámetro Ja (alteración) en cada sondeo, gráfico de distribución de valores del parámetro Ja en cada sondeo, gráfico estadístico de variación del parámetro Jw (influencia del agua) en cada sondeo, gráfico estadístico de variación del parámetro SRF (influencia del estado tensional) en cada sondeo, planilla de cálculo de tensiones admisibles según cuatro teorías de aplicación *(Flores, 2009)* para cada profundidad, gráfico de variación de las tensiones admisibles de cálculo en función de la profundidad en cada sondeo, planilla de cálculo de módulos de deformabilidad del macizo rocoso según catorce teorías a partir de los índices de clasificación *(Flores, 2009)*, gráfico de variación de los módulos de deformabilidad con la profundidad, planilla con los resultados de los ensayos Lugeon de pérdida de agua en la que se muestran los pares de valores (p – q) obtenidos en el ensayo, los valores de RQD medios y mínimos observados en el tramo y los valores de la permeabilidad K (en [m/s] y en [cm/s]) calculados según la expresión de *Hvorslev (1949)* y del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos *(USACE, 1983)* en la hipótesis de un radio de influencia obtenido según la expresión de *Sichardt*.

Con la información recopilada se compuso el cuadro geológico geotécnico sobre el cual se proyectó el cierre y su cota preliminar de fundación y del cual se realizaron consideraciones

complementarias a la luz de lo expuesto en las excavaciones mediante estudios complementarios que, finalmente, fueron fundamento para la toma de decisiones respecto a la fijación de la superficie definitiva de apoyo de la presa y el tratamiento consecuente. (Giacini, 2011)

GEOLOGÍA Y GEOTÉCNICA DE LA FUNDACIÓN

Se brinda a continuación una muy breve síntesis de la características geológicas y geotécnicas del sitio.

Aspectos Geológicos

Cobertura de material no rocoso

Suelos orgánicos, depósitos sedimentarios fluviales y eólicos y materiales friables de origen antrópico. Dadas las características geotécnicas determinadas, el espesor y la disposición de los materiales de cobertura, los mismos deberán ser excavados mecánicamente hasta el techo de roca a los fines de la fundación del cuerpo de la presa y del cuenco dissipador. La estimación del espesor promedio de excavación determinado es de aprox. 2,40 m. y el volumen aproximado para el ámbito de la fundación de la presa fue de 1800 m³.

Macizo rocoso

Rocas del Basamento Cristalino Precámbrico. Macroscópicamente, las rocas dominantes en el área de fundación son granitoides, gneises gris verdosos de composición tonalítica que han sido intruídos por rocas de origen pegmatítico de grano muy fino, de color rosado. La presencia de estas últimas se detecta mayormente en margen derecha aunque se han observado también en margen izquierda. En corte delgado las rocas no alteradas o con poco grado de alteración básicamente constituyen rocas granudas, milonitas de composición tonalítica y rocas microgranudas, milonitas de un protolito aplítico o granítico, de grano fino.

Grados de alteración del macizo rocoso

Del análisis del grado de la alteración, se detectaron cuatro formas de ocurrencia dentro del modelo geológico de macizo rocoso determinado para la fundación de la presa:

Forma 1: La zona alterada es paralela a la superficie del terreno y a la roca no alterada. Representado por una capa alterada, de espesor variable, que suprayace a la roca no alterada y que es sinuosa pero paralela/a subparalela al terreno natural o superficie topográfica.

Forma 2: La zona alterada se ubica entre discontinuidades. La alteración se produjo a expensas de las zonas fracturadas de inclinación vertical a subvertical, que han dejado importante material intersticial de zona fracturada, brecha, microbrecha, etc.

Forma 3: Variante de la anterior pero de mayores dimensiones. Corresponde a la alteración en zonas de cizallamiento (arenización) y/o de intenso fracturamiento superficial. Roca alterada de manera intensa, como mínimo tipo A4 (completamente alterada) en los niveles superficiales del macizo presentando también en ocasiones intensa lajosidad.

Forma 4: Roca masiva con bajo grado de alteración o no alterada (fresca). Subyace a la forma 1 y se encuentra interceptada vertical y subverticalmente por las formas 2 y 3 anteriormente descriptas. En términos generales las rocas objeto de fundación, gneises gris verdosos y

pegmatitas aplíticas rosadas, son rocas frescas o débilmente alteradas, A1 o A1-A2, con cristales brillantes, observándose en general una leve decoloración del macizo en las paredes de los planos de discontinuidad.

Estructura del macizo rocoso

La estructura del macizo rocoso responde a la existencia de un amplia zona regional de fajas ultramilonitizadas de rumbo E-O. Consecuencia de la reactivación terciaria producida por la Orogenia Andina de los antiguos planos estructurales correspondientes a las fases deformacionales producidas desde el Ciclo Transamazónico, la situación estructural se resume según tres orientaciones claramente definidas constituyendo los Dominios Estructurales A, de orientación E-O; B, de orientación NE-SO y C, de orientación NO-SE.

- Se visualiza una distinta morfología en ambas márgenes. La izquierda posee una tendencia a la concavidad mientras que la derecha existe tendencia a la convexidad. El cuadro lito-estructural y la diferente disposición y respuesta de las rocas resultantes a la degradación explicarían las tendencias descriptas.
- El cuadro estructural detectado reconoce cuatro familias de discontinuidades a nivel superficial y subsuperficial. Tres de ellas poseen inclinación subvertical y la restante es subhorizontal. Los rumbos generales son NE-SO, NO-SE y E-O.
- Las estructuras de ciza son de rumbo subparalelo y de rumbo diagonal al eje de la presa y afectan directamente a la fundación de la presa en ambas márgenes. Corresponden a líneas estructurales de envergadura mayor, de espesor variable y longitud no detectable pero, por inferencia, extensos. Consecuente con ello, existen evidencias de arenización (modelo de alteración 3) en el estribo de margen derecha y en los sondeos a medio faldeo y en margen izquierda a medio faldeo y en el estribo subyacentes a los depósitos arenosos de origen antrópico. Las rocas alteradas resultantes fueron excavadas a los fines de la fundación.
- Respecto a las estructuras cortantes de falla son contrastantes en margen derecha y margen izquierda. Mientras en la primera toda una zona de falla o de corte con intensa microfisuración recorre el empotramiento en forma diagonal al mismo siguiendo una orientación desfavorable a los fines de la estabilidad de la presa (progresivas 110 m a 150 m), en la margen izquierda mayormente predomina un macizo fracturado en menor magnitud habiéndose detectado evidencias de falla a medio faldeo (progresivas 45 a 70 m aprox.) y en las cercanías del sitio de empotramiento como lo detectado en progresiva 24 m.

Orientación de las discontinuidades

El rumbo de la traza elegida es N34°E.

En margen derecha, en general los rumbos de las discontinuidades dominantes respecto al eje de la presa guardan una relación desfavorable respecto a la estabilidad del estribo toda vez que las mejor caracterizadas, dados los escasos afloramientos y la inexistencia de testigos de perforación orientados, poseen una disposición subparalela o diagonal al eje unos 30° al norte con planos de inclinación de alto ángulo y/o a 45° mayormente hacia aguas abajo. Coadyuva a esta definición la

existencia de cuatro familias de discontinuidades y sus orientaciones generales.

En margen izquierda el problema de la inexistencia de afloramientos se acentuó. Así, en los escasísimos y muy discontinuos afloramientos se detectó la presencia, si bien en menor magnitud aparente que en la otra margen, de fajas de cizalla de rumbos diagonales (E-O) al eje de hábito subvertical hacia aguas abajo y, en profundidad, fallas de corte, de rumbos no conocidos pero de inferencia diagonal al eje, lo cual también constituye una orientación desfavorable de la estructura respecto al eje y el estribo izquierdo constituyendo vías preferenciales de circulación de agua en el subsuelo.

Zonificación litoestructural del macizo rocoso a los fines de su clasificación geotécnica

Fueron identificadas las siguientes zonas litoestructurales consecuentes con la litología, grado de alteración y el sistema estructural descrito:

- *Zona Litoestructural 1:* Responde a las formas de alteración 1, 2 y 3 descriptos: a) Zona alterada paralela a la superficie del terreno y a la roca no alterada en sectores en margen derecha y en margen izquierda. b) Alternancia de zonas alteradas que se ubican entre discontinuidades en toda el área de la presa. c) Zona de ciza o intenso fracturamiento en margen derecha e izquierda ligado al empotramiento de los estribos y en el subsuelo de la fundación del cuerpo principal de la presa.
- *Zona Litoestructural 2:* Roca masiva, fresca a poco alterada, exceptuando las fallas localizadas, detectada en todas las perforaciones, a distintas profundidades en todo el área de fundación.

En el macizo rocoso, la zona litoestructural 1 se presenta, en líneas generales, subsuperficialmente paralela y varía su espesor de acuerdo a la ocurrencia local de algunos, a veces combinados, de las formas 1, 2 y 3 de alteración. La zona Litoestructural 2 se encuentra inmediatamente subyacente.

Macizo rocoso - determinaciones geotécnicas

Zonificado el macizo, el objetivo de clasificar geotécnicamente las zonas resultantes es el de proveer al proyectista de datos cuantitativos que son requeridos para la solución de los problemas de ingeniería y brindar de esta manera una base efectiva de comunicación entre todos los integrantes del equipo de investigación en geotécnica.

De acuerdo a la zonificación litoestructural realizada, la zona 1 mayoritariamente posee rocas cuyo grado de alteración inhibe en muchos casos la aplicación de clasificaciones geomecánicas toda vez que las mismas componen un cuadro de alteración cuya distribución expone rocas de alteración **A4** a **A6** por lo que, entre otros parámetros, el RQD no resulta evaluable. Sin embargo, existen también áreas subsuperficiales muy fracturadas, donde la alteración y el grado de fracturamiento, de orientación desfavorable, no alcanzan la magnitud extrema de lo mencionado anteriormente, poseyendo separación de las discontinuidades que varían entre 0,06 m - 0,2 m y < a 0,06 m o brechosa dando como resultado RQD de valores muy bajos a valores 0 (cero), siendo por lo general muy permeables con valores Lugeon muy altos (Giacconi, 2009).

La zona 2 presenta rocas duras, gneises y pegmatitas aplíticas, de peso específico general entre 2,6 y 2,9 g/cm³, poco meteorizadas a frescas, algo fracturadas donde si bien las orientaciones estructurales se infieren desfavorables respecto a la estabilidad de estribos y/o circulación de flujo subterráneo, las matrices rocosas en cuanto al grado de alteración mayoritariamente son **A1** a **A1-A2**, cuestión de importancia respecto a la posibilidad de mejoramiento de las condiciones geomecánicas por tratamiento.

En gran parte, aunque existen excepciones fundamentalmente en el área de los estribos, se determinó para esta zona 2 un valor de RQD superior al 75 % con valores modales en 90 a 100 % siendo que las separaciones de las discontinuidades son por lo general superiores a 0,6 m y las diaclasas se presentan cerradas o con muy baja apertura (< 0,1 mm), rugosas, por lo general sin relleno (excepto en zonas localizadas de fallas) y donde los planos o paredes de las diaclasas no presentan alteración o la poseen en grado ligero. En general los valores de los ensayos Lugeon son bajos a muy bajos, incluso sin admisiones a excepción de las zonas localizadas de falla (Giacconi, 2009).

Relevamiento geológico - geotécnico de la fundación

El complejo litoestructural descrito fue relevado según se ilustra en la Figura 1 mediante la confección del plano y perfil geológico. En la Figura 2 se brinda el plano de alteración geotécnica de las rocas de fundación desde el punto de vista geológico ingenieril realizado según la estandarización de la International Association of Engineering Geology (Dearman et al., 1989). El perfil geotécnico fue publicado en el CAMSIG 2010 (Flores et al., 2010)

MÉTODOS DE EXCAVACIÓN DE LOS MATERIALES

La excavación de materiales requirió la utilización de medios mecánicos y/o voladuras. La selección del método de excavación dependió básicamente de la excavabilidad de los materiales, de las dimensiones y geometría de la excavación y del rendimiento de la maquinaria.

En general, los principales métodos de excavación en función del grado de consistencia de los materiales, son: a) medios mecánicos para materiales poco consolidados (pala excavadora y pala cargadora) para excavación directa de materiales de suelos finos o granulares y rocas muy alteradas y carga de materiales previamente fragmentados mediante otras técnicas. b) medios mecánicos para materiales consolidados (uña/s escarificadoras de alta potencia o ripers. En algunos casos los ripers son dotados de martillos hidráulicos de impacto) para excavación de rocas alteradas. c) Voladuras mediante explosivos ocasionando la disgregación o fisuración de las rocas según sea la voladura de extracción o de esponjamiento del material. (Giacconi et al., 2009)

En función de ello y teniendo en cuenta la sísmica de refracción realizada en trabajos previos, los materiales detectados fueron excavados: a) mecánicamente: los suelos finos y granulares de la cobertura no rocosa y las rocas muy alteradas y cizalladas de la zona 1. b) escarificables con dificultad: algunos de los materiales rocosos con menor rango de alteración y fracturación que los anteriores. c) voladuras de baja intensidad: en el resto de la excavación hasta llegar a la superficie de fundación donde se sitúan las rocas de la zona 2.

Respecto a la utilización de voladuras de baja intensidad, un ejemplo indicativo de lo realizado se visualiza en la Tabla 1.

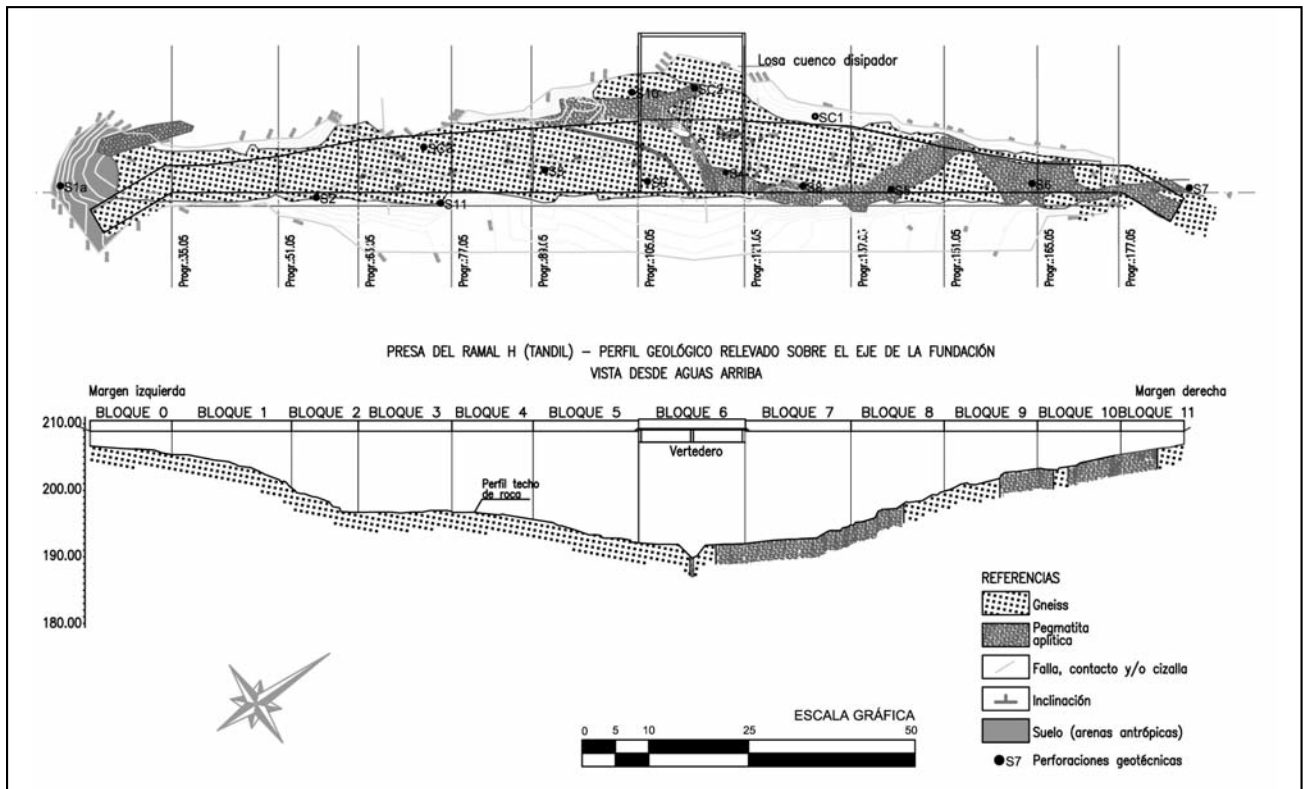


Figura 1. Ramal H. Plano Relevamiento y Perfil Geológico.

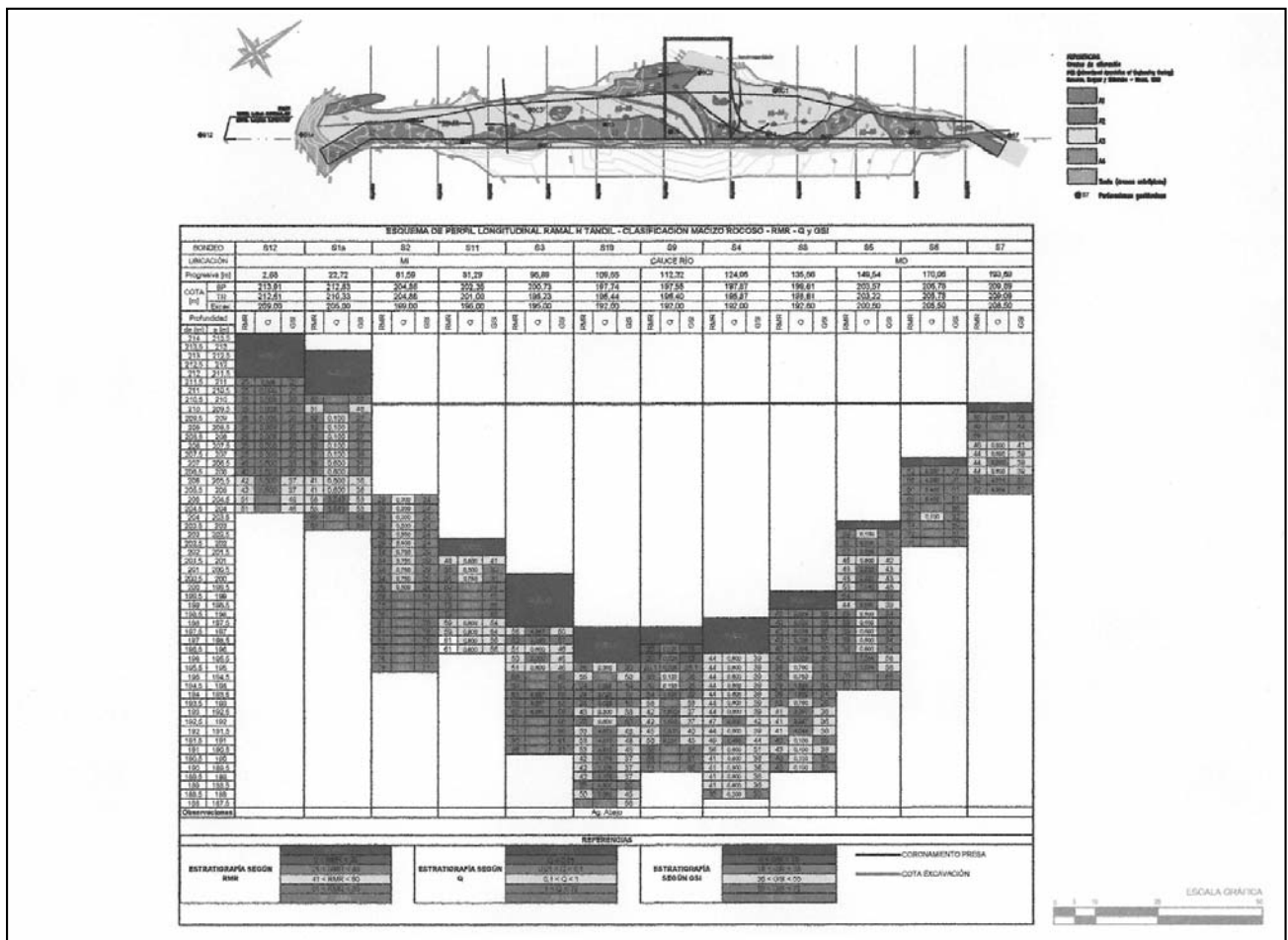


Figura 2. Ramal H. Plano Relevamiento y Perfil Geotécnico.

Tabla 1. Esquema general de voladura en banco de baja intensidad.

Altura del banco (m)	Prof. del banco (m)	Espaciamiento práctico (m)	Carga de fondo (kg)	Carga de columna (kg)	Carga total (kg/barreno)	Carga específica (kg/m ³)
1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	0,80 a 1,20	0,70	0,20	0,90	0,35

Se utilizaron bajas concentraciones de explosivos y la utilización en la secuencia de voladura de milisegundos de retardo a los fines de provocar el vuelco de las rocas, de tal manera de no dañar la roca remanente y reducir los costos de tratamientos posteriores.

El esquema de voladura brindado fue mensurado y analizado en función de su eficacia e impacto sobre el ambiente adyacente al sitio de obra mediante voladuras de prueba y, una vez aprobado, fue permanentemente controlado mediante la utilización de sismógrafo portatil.

Desarrollo general de la excavación

El cuadro geológico y geotécnico descripto determinó la existencia de variaciones litoestructurales importantes y consecuentes variaciones mecánicas e hidráulicas. Sin embargo, la distribución espacial de las mismas era conocida a través de los estudios previos sólo parcialmente en la zona de emplazamiento, por lo que se dispuso la siguiente secuencia en las acciones de excavación:

a) Excavación en materiales de cobertura tales como: suelos orgánicos, sedimentos fluviales y eólicos y materiales meteorizados removidos antrópicamente. (con y sin bombeo).

b) Excavación del macizo rocoso alterado subyacente. Una vez realizado el destape por medios mecánicos de la fundación rocosa con la remoción de las zonas superficiales meteorizadas dispuestas horizontalmente

(modelo de alteración 1), se realizó un análisis geológico geotécnico de la misma en la que se cartografiaron las estructuras y características geológicas presentes, entre ellas: contactos geológicos de distinta competencia geomecánica, planos de corte y zonas de ciza, fajas de alteración de distintas características, etc., tal que permitiera proyectar las excavaciones siguientes.

b.1) Excavación gruesa. A partir de entonces, la excavación gruesa se realizó con el uso de escarificadores y explosivos mediante la voladura de bancos bajos utilizando la técnica de voladura de baja intensidad (Figura 3).

b.2) Excavación fina y saneamiento dental. Finalizado el proceso de excavación gruesa por los métodos expuestos, se iniciaron las tareas de excavación fina. El producto final de esta tarea es la definición del apoyo específico de la fundación de la presa, el cual se encuentra muy relacionado con los tratamientos superficiales de la alteración y de las zonas fracturadas y cizalladas.

La excavación fina es la excavación de los últimos cm de roca previos a su cobertura con hormigón a fin de preservar la roca de fundación de las condiciones de intemperización siendo que, en aquellos sectores que requirieron una mayor intensidad de tratamiento por presencia de rocas de baja calidad, calafateo - saneamiento dental, se debe producir una mayor extracción del material rocoso, en una relación mínima de dos veces en profundidad respecto al ancho de faja excavado, el cual finalmente es reemplazado con hormigón H-13 vibrado.



Figura 3. Excavación gruesa de la fundación - voladura de roca.

Antiguamente la decisión final expeditiva sobre el terreno respecto a la profundidad del tratamiento de la excavación fina conlleva la responsabilidad profesional de detectar la calidad geomecánica mediante el sonido que produce la roca al golpe de martillo geológico. El sonido apagado, hueco, reconoce rocas de mala calidad y el sonido metálico al golpe de martillo en cambio determina rocas de buena calidad geomecánica. En la actualidad, la herramienta muy útil a estos fines es el martillo de Schmidt (*González de Vallejo et al., 2004*). En definitiva, la conjugación de ambos métodos de auscultación de calidades mecánicas resulta conveniente de uso.

En el caso de la presa del Ramal H, la definición de este plano estuvo muy relacionado con los tratamientos superficiales de la alteración, entre ellos: a) Remoción de zonas alteradas remanentes dispuestas horizontalmente sobre roca rígida y fresca (modelo de alteración 1). b) Remoción de zonas alteradas entre discontinuidades (modelo de alteración 2). Este tratamiento se denomina "dental". Demandó mayor trabajo y tiempo. La existencia de estas zonas de alteración profundas obligó a reemplazar, hasta una profundidad evaluada en el momento, el material rocoso alterado por hormigón H-13. En el área de contacto entre los diques pegmatíticos y la roca de caja gneissica se observó una mayor intensidad de la alteración. Allí este tratamiento fue mas intenso y profundo al igual que en las zonas de cizalla dentro del macizo de composición esencialmente gneissica. c) En las zonas de ciza (modelo de alteración 3) como las que afectan a los empotramientos y otros sectores,

además de la remoción de las rocas alteradas, se realizó el calafateo de fisuras o lajosidad. d) Para la roca masiva y sana (zona geotécnica 2), no se realizaron tratamientos superficiales. Cabe acotar que durante las tareas se debió realizar el bombeo de agua que ingresó y se almacenó en las excavaciones fundamentalmente en el área central. Su origen se debió a precipitaciones meteóricas y/o escurrimiento de flujo subterráneo subsuperficial. Estas tareas fueron previas a la construcción del hormigón de regularización de la presa. Posteriormente desde el mismo se desarrolló el tratamiento mediante inyecciones cementíceas de consolidación e impermeabilización a los fines de homogeneizar la cimentación y el control de las filtraciones del macizo rocoso sujeto a la fundación de la presa.

Volúmenes de H^o utilizados en el tratamiento dental de la roca de fundación

Previo al desarrollo de las tareas de saneamiento se demarcaron las zonas a ser tratadas mediante el reemplazo de las rocas de baja calidad geomecánica por hormigones de mejor condición (Hormigón H-13) y se realizó una medición de volúmenes. La Tabla 2 ilustra sobre estos aspectos.

Por lo tanto, en la superficie de apoyo se procedió a:

- Limpieza y saneo de materiales erosionables y bloques sueltos.
- Sellado de fracturas, huecos y grietas.
- Relleno de cavidades, zonas alteradas y/o cizalladas.

Tabla 2. Volúmenes de hormigón H-13 utilizados en el tratamiento dental

SECTOR	ENTRE PROGRESIVAS (m)	TOTAL (m ³)	OBSERVACIONES
TD14	30 a 60 (ag. ab. del eje cruzando hacia ag. arr.)	56,0	margen izquierda - área del estribo
TD13	65 a 80 (gran parte del ancho de presa)	235,6	margen izquierda - al sur del desvío del A°
TD12	80 a 90 (aguas abajo del eje)	50,0	margen izquierda - al norte del desvío del A°
TD11	80 a 90 (parte central)	15,0	margen izquierda - al norte del desvío del A°
TD10	90 a 93 (aguas abajo del eje)	4,8	margen izquierda - al norte del desvío del A°
TD9	90 a 110 (parte central)	9,6	margen izquierda - al norte del desvío del A°
TD8	90 A 120 (aguas abajo del eje)	28,8	salvanda occidental al dique aplítico
TD7	90 a 120 (aguas abajo del eje)	35,6	salvanda oriental al dique aplítico
TD6	114 a 122 (zona central y aguas arriba)	176,8	Zona de cizalla coincidente con curso del A°
TD5	131 a 138,5 (aguas abajo del eje)	45,0	margen derecha
TD4	140 a 150 (aguas abajo del eje)	24,0	margen derecha
TD3	150 a 160 (aguas arriba del eje)	20,8	margen derecha
TD2	162 a 175 (aguas abajo del eje)	8,6	margen derecha
TD1	175 a 180 (aguas abajo del eje y parte central)	10,0	Estribo margen derecha
		720,6	Volumen en sectores demarcados como TD
	Calafateo de fracturas y cizallas en general	252,2	Estimación = + 35 %
		972,8	Volumen total estimado de tratamiento dental

La Tabla 3 informa sobre la dosificación del hormigón H-13 utilizado en las tareas de tratamiento:

Tabla 3. Dosificación del Hormigón H-13

HORMIGON H-13	
COMPONENTES	CANTIDADES (kg/m³)
Cemento	250
P6 - 20	621
P 10 - 30	417
Arena fina	637
rena 0 - 6	275

Excavación fina y saneamiento dental - Fotografías del tratamiento efectuado

Las figuras que siguen ilustran sobre tratamiento realizado.



Figura 4. Limpieza de la roca de fundación mediante aire y agua a presión.

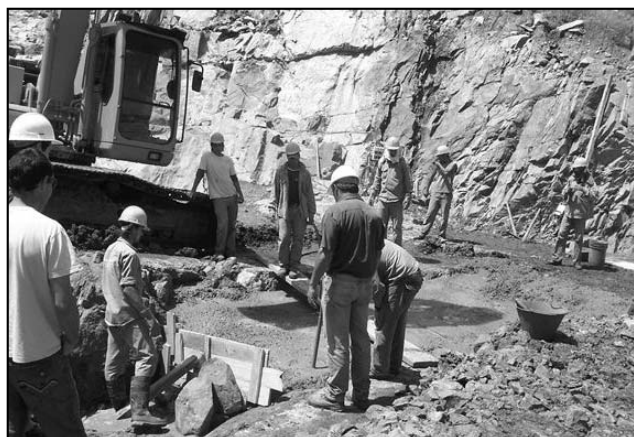


Figura 5. Excavación fina de las rocas de fundación en el área central de la presa.



Figura 6. Área de estribo de margen derecha. Dique de rocas pegmatíticas rosadas en el plano de fundación previo a las tareas de saneamiento del contacto con rocas de composición gneissica. Se observa buena calidad geomecánica de la matriz rocosa pero con intensa presencia de fisuras, en parte rellenas de arcillas.



Figura 7. Sector demarcado para limpieza y calafateo de material muy fisurado con parcial presencia de arcillas plásticas rellenan-do fisuras entre progresivas 170 a 180.



Figura 8. Vista del sector anterior (Figura 7) una vez finalizada la tarea de limpieza y previo al hormigonado de protección.



Figura 9. Vista de la fundación entre progresivas 165 y 170. Tarea de limpieza con aire y agua a presión previo al hormigonado de protección y construcción del zócalo de apoyo. Se observa dique pegmatítico en roca de caja de composición gneissica.



Figura 10. Saneamiento del contacto entre las rocas pegmatíticas y las rocas gneissicas.



Fotografía 11. Detalle del calafateo de zonas fisuradas y alteradas en la roca de fundación.



Figura 12. Saneamiento material alterado en el plano de fundación. Progresivas 125 a 150 m Zona de microfracturación y cizalla con presencia de arcillas en parte dentro de las rocas gneissicas cercana al contacto con el dique pegmatítico situado hacia aguas arriba y en parte en el contacto entre los dos tipos de roca mencionados.



Figura 13. Sanemiento dental finalizado del contacto gneiss - pegmatita en progresivas 125 a 150m, realizado el procedimiento de lavado con aire y agua a presión previo al hormigonado de reemplazo y protección.



Figura 14. Proceso de hormigonado de reemplazo durante el saneamiento de zonas de alteración con presencia de cizalla en rocas de composición gneissica tonalítica cercanas al contacto gneiss - pegmatita.



Figura 15. Saneamiento dental. Vibrado del hormigón H13 de reemplazo de la roca extraída de baja calidad geomecánica en el sector saneado.



Figura 16. Tratamiento dental. Probetas de ensayo del hormigón H13 utilizado en la tarea de saneamiento .



Figura 17. Vista general del saneamiento efectuado en el lateral izquierdo de la presa previo a la construcción del zócalo de apoyo u hormigón de regularización o plinto.



Figura 18. Zócalo de apoyo de la presa o plinto. Vista general desde el estribo de margen derecha de la totalidad del zócalo de apoyo. En primer plano se observa la colocación de los módulos para la construcción del bloque 10 de la presa.

CONSIDERACIONES FINALES

En un área antropizada, profusamente edafizada y cuya evolución geológica de miles de millones de años es compleja, los estudios básicos de geología e ingeniería geotécnica realizados durante el desarrollo del proyecto si bien determinaron la existencia de un macizo rocoso de características geomecánicas e hidráulicas disímiles, no permitieron dilucidar en toda su magnitud el complejo cuadro geológico geotécnico resultante en profundidad y mas precisamente en el plano de apoyo de la presa. La existencia de aleatorias fajas de rocas fracturadas y/o cizalladas y alteradas en contacto no transicional con rocas de muy buena calidad geomecánica como puede observarse en las Figuras 1 y 2, coadyuvaban de manera decisiva en este aspecto.

La presencia de estas dispares condiciones mecánicas obligó a un seguimiento laborioso y un relevamiento y mapeo minucioso de las características particulares del macizo rocoso durante las tareas de excavación que redundaron finalmente en las tareas de homogeneización geomecánica desarrolladas en el plano de fundación de la presa mediante tratamiento dental descriptas e ilustradas en el presente trabajo.

La persistencia recurrente de precipitaciones extraordinarias en el ámbito de las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires obliga en las áreas antropizadas al desarrollo de otras obras de mitigación de los escurrimientos resultantes similares a la presentada en este trabajo. Por caso vale mencionar la futura presa del arroyo Blanco al suroeste de la ciudad de Tandil cuyos primeros estudios de geología y geotécnica ya se han realizado (*Giaconi, 2011*), amén de las anteproyectadas presas La Isidora y Manantiales, sobre los arroyos Azul y Videla respectivamente, aguas arriba de la ciudad de Azul (Provincia de Buenos Aires), aunque estas dos últimas son de estructura diferente a la del A° Blanco (*Giaconi, 1993*).

Por consiguiente, se infiere necesario que a futuro en el área de desarrollo de proyectos como el presente, se tengan en cuenta los aspectos aquí expuestos toda vez que ello implica, independientemente de las tareas de inyecciones cementíceas que posteriormente se desarrollen, una particular y laboriosa tarea de tratamiento dental de la fundación y, en consecuencia, un mayor tiempo de ejecución y un incremento en el costo de la obra.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- DEARMAN, W.R; SERGEEV, E. Y SHIBAKOVA, V. 1989.
Engineering Geology of the Earth
Moscú.
- FLORES, R. M. 2009.
Presa del Ramal H - Informe de Ingeniería Geotécnica.
(Inédito).
- FLORES, R. M. Y L. M. GIACONI. 2010.
Aspectos geotécnicos de la fundación de la Presa del Ramal H. Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica (CAMSIG).
Mendoza (Argentina).
- GIACONI, L. M. 1993.
Presas La Isidora y Manantiales - Informe de Prefactibilidad de Geología y Geotécnica.
(Inédito).
- GIACONI, L. M. 1994.
Estudio geológico superficial Ramal H.
(Inédito).
- GIACONI, L. M. 2009.
Presa del Ramal H - Informe de Geología y Geotécnica.
(Inédito).
- GIACONI, L. M. 2011.
Presa del Ramal H - Informe Complementario de Geología y Geotécnica.
(Inédito).
- GIACONI, L. M. 2011.
Presa del Arroyo, Tandil - Informe preliminar de Geología y Geotécnica.
(Inédito).
- GIACONI, L. M., GIORDANO R. E. Y CUMBA A. 2009.
Métodos de excavabilidad para la fundación de la presa del Ramal H (Tandil).
IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología - II Reunión del Cuaternario de América del Sur. La Plata. Págs. 526 - 535.
- GONZALEZ DE VALLEJO, L. I.; FERRER M.; ORTUÑO, L. Y OTEO C. 2004.
Ingeniería Geológica.
Pearson Educación S. A.. 715 pp. Madrid
- US ARMY CORP OF ENGINEERS (USACE). 1983.
Seepage Analysis and Control for Dams CH1 (Change 1),
EM 1110-2-1901, Apendix C. 389 pp.